

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA**

TAYLA ÉVELLIN DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO
ESTRESSE HÍDRICO NO FEIJOEIRO COMUM**

TUPÃ

2025

TAYLA ÉVELLIN DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO
ESTRESSE HÍDRICO NO FEIJOEIRO COMUM**

Relatório científico apresentado à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito para finalização do estágio de pós-doutoramento sem bolsa, realizado no Departamento de Engenharia de Biosistemas, UNESP, Câmpus de Tupã.

Supervisor: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti

TUPÃ

2025

Impacto potencial desta pesquisa

Este estudo apresenta impacto significativo na agricultura sustentável ao propor o uso de bioinsumos como estratégia para mitigar os efeitos do estresse hídrico em culturas sensíveis, como o feijoeiro comum. A escassez hídrica é um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola, especialmente em regiões sujeitas a variações climáticas e em cultivos dependentes de chuvas regulares. A aplicação de bactérias promotoras de crescimento vegetal pode favorecer a adaptação das plantas às condições adversas, promovendo melhorias no desenvolvimento radicular, na absorção de nutrientes e na eficiência do uso da água. Além disso, o uso desses insumos biológicos contribui para a redução da dependência de produtos químicos, alinhando-se aos princípios da agricultura de base ecológica. Os resultados obtidos podem beneficiar diretamente produtores rurais, sobretudo os de base familiar, ao oferecer alternativas acessíveis e sustentáveis para o manejo da cultura em ambientes com disponibilidade hídrica limitada. Do ponto de vista científico, a pesquisa amplia o conhecimento sobre as interações planta-microrganismo em condições de estresse e fornece subsídios para o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao manejo biológico em diferentes fases fenológicas da cultura.

Potential impact of this research

This study presents a significant impact on sustainable agriculture by proposing the use of bioinputs as a strategy to mitigate the effects of water stress in sensitive crops such as common bean. Water scarcity is one of the main limiting factors for agricultural productivity, especially in regions subject to climate variability and in crops dependent on regular rainfall. The application of plant growth-promoting bacteria can enhance plant adaptation to adverse conditions by improving root development, nutrient uptake, and water use efficiency. In addition, the use of these biological inputs contributes to reducing dependence on chemical products, aligning with the principles of ecologically based agriculture. The results obtained may directly benefit rural producers, especially small-scale farmers, by offering accessible and sustainable alternatives for crop management under limited water availability. From a scientific perspective, the research expands knowledge on plant-microorganism interactions under stress conditions and provides support for the development of new technologies applied to biological management at different phenological stages of the crop.

APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO ESTRESSE HÍDRICO NO FEIJOEIRO COMUM

RESUMO: As mudanças climáticas e a irregularidade das chuvas têm provocado impactos significativos nas culturas agrícolas, entre eles o estresse hídrico, que afeta o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), de elevada importância socioeconômica no Brasil. O uso de bioinsumos à base de microrganismos promotores de crescimento vegetal surge como alternativa para mitigar esses efeitos, favorecendo o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e a eficiência do uso da água. Diante disso, objetivou-se avaliar a aplicação de *Bacillus aryabhattai* associado a bactérias promotoras de crescimento no feijoeiro comum, submetido à irrigação subótima em diferentes fases fenológicas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, durante a safra de inverno de 2024, em blocos casualizados, em esquema fatorial (5×5), com quatro repetições. Foram testados três bioinsumos: *B. aryabhattai* isolado, a combinação de *B. aryabhattai* + *Rhizobium tropici* e a associação dos dois anteriores com um mix de bactérias, além de dois controles (positivo e negativo), combinados com cinco manejos de irrigação. Avaliaram-se o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, o número de grãos por planta, o peso de mil grãos, a produtividade, o teor de nitrogênio nas folhas, a proteína bruta dos grãos e a densidade de microrganismos no solo. A aplicação de *B. aryabhattai*, isolado ou em combinação com *R. tropici* e outras estirpes bacterianas, demonstrou potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico no feijoeiro comum, promovendo maior produtividade mesmo em condições de irrigação subótima. Além disso, a associação de bioinsumos contribuiu para o aumento do teor foliar de nitrogênio e da proteína bruta dos grãos, em níveis comparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação nitrogenada mineral.

Palavras-chaves: *Bacillus aryabhattai*, inoculação, manejo hídrico, *Phaseolus vulgaris*, *Rhizobium tropici*.

APPLICATION OF BIOINPUTS IN THE MITIGATION OF WATER STRESS EFFECTS IN COMMON BEAN

ABSTRACT: Climate change and irregular rainfall have caused significant impacts on agricultural crops, including water stress, which affects the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), a crop of high socioeconomic importance in Brazil. The use of bioinputs based on plant growth-promoting microorganisms emerges as an alternative to mitigate these effects, favoring root development, nutrient absorption, and water use efficiency. Therefore, the objective was to evaluate the application of *Bacillus aryabhattai* associated with plant growth-promoting bacteria in common bean plants subjected to suboptimal irrigation at different phenological stages. The experiment was conducted in a greenhouse during the 2024 winter season, in a randomized block design, in a factorial scheme (5 × 5), with four replications. Three bioinputs were tested: *B. aryabhattai* alone, the combination of *B. aryabhattai* + *Rhizobium tropici*, and the association of both with a bacterial mix, in addition to two controls (positive and negative), combined with five irrigation managements. The evaluated variables were the number of pods per plant, number of grains per pod, number of grains per plant, thousand-grain weight, yield, leaf nitrogen content, grain crude protein, and soil microorganism density. The application of *B. aryabhattai*, either alone or in combination with *R. tropici* and other bacterial strains, showed potential to mitigate the effects of water stress in common beans, promoting higher yield even under suboptimal irrigation conditions. Furthermore, the association of bioinputs contributed to increasing leaf nitrogen content and grain crude protein to levels comparable to or higher than those obtained with mineral nitrogen fertilization.

Keywords: *Bacillus aryabhattai*, inoculation, water management, *Phaseolus vulgaris*, *Rhizobium tropici*.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm se consolidado como um dos principais desafios globais do século XXI, afetando diversos setores da sociedade, com destaque para a agricultura. O aumento das temperaturas médias e a irregularidade dos regimes de precipitação vêm comprometendo a estabilidade dos sistemas produtivos, tornando eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, cada vez mais frequentes e severos. Esses fenômenos impactam diretamente o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas, impondo à agricultura a necessidade de estratégias de adaptação e mitigação dos efeitos do estresse abiótico, especialmente o hídrico (LIU et al., 2019; DIAS; MATOS, 2023).

No Brasil, a vulnerabilidade da agricultura frente à escassez de água é acentuada pelo predomínio da agricultura de sequeiro, que depende exclusivamente da água armazenada no solo e das chuvas (ANA, 2020). Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que possibilitem maior resiliência das culturas agrícolas à limitação hídrica.

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), alimento básico na dieta da população brasileira, possui grande relevância socioeconômica e nutricional. No entanto, a produtividade da cultura é altamente sensível à disponibilidade hídrica, especialmente em fases críticas do seu desenvolvimento, como germinação, florescimento e enchimento de grãos. A exposição ao estresse hídrico durante essas etapas pode comprometer significativamente o desempenho das plantas, reduzindo o rendimento e a qualidade final dos grãos (MIORINI; SAAD; MENEGALE, 2011; ANSARI et al., 2019).

Diante da crescente demanda por práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, os bioinsumos vêm se destacando como alternativa viável. Entre eles, destacam-se os produtos à base de microrganismos benéficos, como as rizobactérias promotoras de crescimento, que estabelecem relações benéficas com as plantas e proporcionam vantagens como a promoção do crescimento vegetal, a melhoria na absorção de nutrientes e o aumento da resistência a patógenos (HASHEM et al., 2021; MASMOUDI et al., 2023; TAHIRI et al., 2024). Tais bactérias também são capazes de estimular o crescimento das raízes, ampliando a capacidade das plantas de explorar um maior volume de solo. Com essa expansão radicular, as plantas conseguem acessar mais eficientemente a água armazenada no solo, aumentando sua tolerância a períodos de escassez hídrica (MASMOUDI et al., 2023; SILVA et al., 2023).

Entre essas bactérias, *Bacillus aryabhattai* tem se destacado como um agente promissor, apresentando respostas positivas em diferentes culturas, especialmente sob condições de estresse hídrico. Sua atuação inclui a promoção do crescimento vegetal, o estímulo ao desenvolvimento radicular e a ativação de mecanismos fisiológicos que contribuem para a resiliência das plantas frente à limitação hídrica (DENG et al., 2022; FUGA et al., 2023; MUN et al., 2024). No entanto, ainda são necessários estudos que avaliem seu uso na cultura do feijoeiro, especialmente em combinação com outras estirpes.

Com base nessas informações, o objetivo do estudo foi avaliar a aplicação do *Bacillus aryabhattai* associado a bactérias promotoras de crescimento no feijoeiro, quando submetido à irrigação subótima em diferentes fases fenológicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento e preparo do solo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Professor Edson Antônio Velano (UNIFENAS), localizada no município de Alfenas, Minas Gerais, durante a safra de inverno de 2024, entre os meses de maio e agosto. Foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 12 dm³, preenchidos com solo coletado em uma área experimental da própria universidade. O solo é classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa, cujas características químicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo coletado na camada de 0-20 cm da área experimental da Universidade Professor Edson Antônio Velano (UNIFENAS), Alfenas-MG, 2024.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	V	MO
CaCl ₂	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%	g dm ⁻³
5,1	5	8	0,2	0,1	0,1	2,5	0,3	2,8	9	7

Para o preparo do solo, foram realizadas a calagem e a adubação fosfatada, definidas com base na análise química do solo e nas recomendações para a cultura, sendo ambas incorporadas. Posteriormente, realizaram-se também as adubações de semeadura e de cobertura, seguindo os mesmos critérios (Ribeiro, Guimarães e Alvarez, 1999).

2.2 Delineamento experimental e condução do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5×5 , com quatro repetições, totalizando 100 unidades experimentais. Os tratamentos consistiram em três diferentes bioinsumos, além de dois controles (positivo e negativo), combinados com cinco manejos de irrigação.

Foram utilizadas sementes de feijão da cultivar BRS Estilo, caracterizada pelo alto potencial produtivo e grãos claros de excelente qualidade comercial. Os bioinsumos utilizados tiveram como base as seguintes formulações: *Bacillus aryabhattai* isolado; combinação de *B. aryabhattai* + *Rhizobium tropici*; e a associação dos dois anteriores com um mix de bactérias pertencentes à coleção do Laboratório de Microbiologia do Solo (LMS) da UNIFENAS, isoladas por Florentino et al. (2014). A identificação e as características morfológicas dessas estirpes estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Identificação e caracterização morfológica das estirpes bacterianas cultivadas em meio de cultura 79, utilizando o indicador azul de bromotimol.

Identificação das estirpes	Características morfológicas em meio 79		
	pH	Produção de exopolissacarídeos	Cor
UNIFENAS 03-23	Alcalino	Baixa	Crema
UNIFENAS 03-35	Ácido	Média	Amarelo
UNIFENAS 03-36	Neutro	Baixa	Amarelo

O preparo dos bioinsumos foi realizado no LMS, onde as estirpes foram inicialmente cultivadas em placas de Petri contendo meio de cultura ágar nutriente para a bactéria do gênero *Bacillus* e meio 79 para as demais, por 48 horas, para formação de colônias isoladas e confirmação da pureza. Posteriormente, as colônias foram transferidas para os respectivos meios de cultura líquidos e mantidas pelo mesmo período, até atingirem a fase log, com concentração aproximada de 10^8 células mL^{-1} .

A aplicação dos bioinsumos foi realizada via tratamento de sementes, seguindo as recomendações de produtos comerciais contendo as mesmas estirpes como base, sendo utilizadas as seguintes doses: 4 mL kg^{-1} de sementes para *B. aryabhattai*, 2,5 mL kg^{-1} para *R. tropici* e 8,25 mL kg^{-1} para o mix de bactérias. O controle positivo consistiu na aplicação de nitrogênio mineral na forma de ureia, sem uso de inoculantes, enquanto o controle negativo foi composto por plantas cultivadas sem adição de nitrogênio mineral e sem inoculação.

A semeadura foi realizada manualmente, com deposição de cinco sementes por vaso. Quinze dias após a emergência, foi realizado o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso. Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V4, procedeu-se à adubação de cobertura.

Os manejos de irrigação foram definidos da seguinte forma: irrigação plena, com 100% das necessidades hídricas durante todo o ciclo; déficit contínuo, com 50% ao longo de todo o ciclo; e déficits pontuais aplicados nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, com fornecimento de apenas 50% das necessidades hídricas em cada um desses estágios. As irrigações foram realizadas diariamente, conforme o manejo correspondente, tendo como base a evaporação registrada em um tanque Classe A instalado próximo à área experimental. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada pelo produto entre essa evaporação (ECA) e o seu coeficiente (K_p), conforme descrito por Allen et al. (1998). A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida pela multiplicação da ET_o pelo coeficiente da cultura (K_c).

2.3 Variáveis avaliadas e análise estatística

Foram avaliados o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD). O PMG foi determinado conforme a metodologia descrita por Brasil (2025), e a produtividade foi estimada com base no peso médio de grãos por planta ao final do ciclo, considerando uma densidade de 200.000 plantas por hectare.

Também foram determinados os teores de nitrogênio nas folhas e de proteína bruta nos grãos, ambos obtidos pelo método micro-Kjeldahl (AOAC, 2005).

Além disso, realizou-se a análise microbiológica do solo por meio da quantificação da população de microrganismos viáveis na rizosfera. Para isso, dez gramas de solo foram suspensos em 90 mL de solução salina estéril (NaCl 0,85%), formando a primeira diluição (10^{-1}). Em seguida, 1 mL dessa suspensão foi transferido para um tubo contendo 9 mL da mesma solução, realizando-se diluições sucessivas até atingir 10^{-8} . De cada diluição, foi retirada uma alíquota de 0,1 mL, que foi inoculada em placas de Petri contendo ágar nutriente, utilizando a técnica de espalhamento em superfície (spread plate). As placas foram incubadas a 28 °C por 24 horas. Após esse período, foram contadas as colônias visíveis nas placas que apresentavam entre 30 e 300 colônias, intervalo considerado estatisticamente confiável. A partir do número de colônias contadas

e da diluição correspondente, calculou-se o número de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) por grama de solo.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas por meio do teste de Scott-Knott a 5% de significância, usando o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos parâmetros produtivos referentes ao número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), peso de mil grãos (PMG) e produtividade estimada (PROD) do feijão comum, cultivado com diferentes bioinsumos e manejos de irrigação, estão apresentados na Tabela 3. Os resultados indicam que os bioinsumos e os manejos de irrigação exerceram efeitos significativos sobre os parâmetros avaliados. Além disso, foi observada interação significativa entre esses fatores ($p < 0,05$).

Tabela 3. Número de vagens por planta, número de grãos por planta, peso de mil grãos e produtividade estimada de feijão comum cultivado com diferentes bioinsumos e manejos de irrigação.

Bioinsumos	Manejos de irrigação				
	IP	IDC	IDFV	IDF	IDEG
Número de vagens por planta					
<i>Bacillus aryabhattai</i>	10,75 Aa	5,75 Ab	6,00 Ab	6,25 Ab	6,25 Bb
<i>B. aryabhattai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	11,25 Aa	5,75 Ab	5,75 Ab	6,25 Ab	5,75 Bb
<i>B. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i> + Mix	10,25 Aa	6,00 Ab	5,75 Ab	6,00 Ab	6,75 Bb
Controle positivo	9,50 Ba	6,00 Ab	6,75 Ab	6,50 Ab	8,50 Aa
Controle negativo	8,00 Ca	5,00 Ab	5,25 Ab	6,00 Ab	6,25 Bb
CV (%)	13,64				
Número de grãos por planta					
<i>Bacillus aryabhattai</i>	53,25 Aa	27,00 Ab	31,50 Ab	32,50 Ab	31,25 Bb
<i>B. aryabhattai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	58,50 Aa	28,50 Ab	30,00 Ab	32,75 Ab	30,25 Bb

<i>B. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i> + Mix	48,25 Ba	30,00 Ab	30,00 Ab	32,00 Ab	35,25 Bb
Controle positivo	47,50 Ba	30,00 Ab	35,50 Ab	34,00 Ab	42,50 Aa
Controle negativo	37,75 Ca	20,00 Bc	23,75 Ac	28,25 Ab	29,50 Bb
CV (%)	15,09				
Peso de mil grãos (g)					
<i>Bacillus aryabhattai</i>	224,47 Ba	162,95 Ab	203,43 Ba	231,21 Aa	219,66 Aa
<i>B. aryabhattai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	207,76 Bb	172,62 Ad	191,92 Bc	232,89 Aa	183,18 Bc
<i>B. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i> + Mix	251,18 Aa	180,07 Ad	210,90 Bc	226,85 Ab	205,30 Ac
Controle positivo	221,97 Ba	146,95 Bc	229,11 Aa	234,61 Aa	193,67 Bb
Controle negativo	202,83 Ba	142,80 Bc	197,43 Ba	191,11 Ba	172,49 Bb
CV (%)	7,43				
Produtividade (kg ha ⁻¹)					
<i>Bacillus aryabhattai</i>	2402 Aa	878 Ac	1271 Bb	1500 Ab	1371 Ab
<i>B. aryabhattai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	2431 Aa	990 Ac	1202 Bc	1524 Ab	1131 Bc
<i>B. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i> + Mix	2427 Aa	1080 Ac	1265 Bc	1540 Ab	1447 Ab
Controle positivo	2115 Aa	882 Ac	1627 Ab	1604 Ab	1639 Ab
Controle negativo	1528 Ba	546 Bc	937 Bb	1078 Bb	1018 Bb
CV (%)	17,10				

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). IP - Irrigação plena (100% das necessidades hídricas durante todo o ciclo); IDC - Déficit contínuo (50% ao longo de todo o ciclo); IDFV - Déficit na fase vegetativa (50% das necessidades hídricas nesta fase); IDF - Déficit na fase de florescimento (50% nesta fase); IDEG - Déficit na fase de enchimento de grãos (50% nesta fase); CV (%): coeficiente de variação.

Em relação ao NVP, os melhores resultados sob irrigação plena (IP) foram observados nos tratamentos com aplicação de bioinsumos. Nos manejos com déficit contínuo (IDC) e nos déficits pontuais aplicados nas fases vegetativa (IDFV) e de florescimento (IDF), não houve diferenças significativas entre os tratamentos. No déficit

aplicado durante o enchimento de grãos (IDEG), o controle positivo, que recebeu apenas adubação nitrogenada, sem bioinsumos, apresentou o melhor desempenho. De modo geral, os tratamentos sob IP apresentaram os maiores valores de NVP, além do controle positivo em IDEG, que manteve desempenho comparável mesmo sob condição subótima de fornecimento hídrico.

Em relação ao NGP, sob IP, os melhores resultados foram obtidos com a aplicação dos bioinsumos *B. aryabhatai* isolado e da combinação *B. aryabhatai* + *R. tropici*. No manejo IDC, o menor NGP foi observado no controle negativo, sem adubação nitrogenada ou bioinsumos. Nos manejos pontuais IDFV e IDF não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. No manejo IDEG, o melhor desempenho foi alcançado pelo controle positivo. De forma semelhante ao observado para o NVP, os tratamentos sob IP apresentaram os maiores valores de NGP, além do controle positivo em IDEG, que manteve desempenho comparável.

O fato de que os tratamentos sob IP apresentaram maiores valores de NVP e NGP do que aqueles submetidos a regimes subótimos, sejam contínuos ou pontuais, corrobora a literatura, que relata que o déficit hídrico em fases críticas do ciclo do feijoeiro compromete processos fundamentais, como a fotossíntese, o transporte de nutrientes e o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos, resultando na redução do número de vagens e grãos (SOUSA; LIMA, 2010; MIORINI; SAAD; MENEGALE, 2011; ANSARI et al., 2019). O aumento superior a 35% no NGP, em relação ao controle negativo, observado nos tratamentos submetidos à IDC que receberam bioinsumos, é de grande relevância prática, pois reforça o potencial desses microrganismos como agentes viáveis para a mitigação do estresse hídrico.

O manejo de IDC também afetou o PMG, resultando nos menores valores observados. Contudo, dentro desse mesmo manejo, os tratamentos que receberam bioinsumos, de forma isolada ou combinada, apresentaram resultados superiores aos controles (positivo e negativo), reforçando mais uma vez o potencial desses microrganismos em mitigar os efeitos adversos das condições subótimas de disponibilidade hídrica.

Quanto à PROD, verificou-se que os maiores rendimentos ocorreram em IP com a aplicação dos bioinsumos e do controle positivo. Esse resultado pode ser explicado pela atuação dos bioinsumos na promoção do crescimento vegetal, assim como pela adubação presente no controle positivo, ambos favorecidos pelas condições hídricas ideais

proporcionadas pela IP, o que resultou em maior desempenho da cultura (SANTOS et al., 2015; CIPRIANE et al., 2025).

Não foram observadas interações significativas entre os fatores ($p>0,05$) para o número de grãos por vagem (NGV). No entanto, os bioinsumos influenciaram significativamente essa variável (Tabela 4).

Tabela 4. Número de grãos por planta de feijão comum cultivado com diferentes bioinsumos.

Bioinsumos	Número de grãos por vagem
<i>Bacillus aryabhattai</i>	5,05 A
<i>B. aryabhattai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	5,15 A
<i>B. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i> + Mix	5,10 A
Controle positivo	5,10 A
Controle negativo	4,55 B
CV (%)	10,08

Médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p<0,05$). CV (%): coeficiente de variação.

Os menores valores para o NGV foram observados no controle negativo, possivelmente em função da ausência de nutrientes e microrganismos benéficos. Os tratamentos com bioinsumos apresentaram médias estatisticamente iguais às do controle positivo, que recebeu adubação nitrogenada, indicando a eficácia dos bioinsumos na manutenção do desempenho produtivo do feijoeiro.

Não houve interação significativa entre os fatores ($p>0,05$) para o teor de nitrogênio (N) nas folhas de feijão. No entanto, os tratamentos e o fator, individualmente, apresentaram efeitos significativos ($p<0,05$), indicando que ambos influenciam essa variável de forma independente (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de nitrogênio nas folhas de feijão comum cultivado com diferentes bioinsumos e manejos de irrigação.

Bioinsumos	N (g kg^{-1})
<i>Bacillus aryabhattai</i>	16,55 B
<i>B. aryabhattai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	16,19 B
<i>B. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i> + Mix	17,50 A
Controle positivo	18,39 A

Controle negativo	14,22 C
Manejos de irrigação	N (g kg ⁻¹)
IP	15,66 B
IDC	17,88 A
IDFV	19,13 A
IDF	14,41 B
IDEG	15,77 B
CV (%)	10,95

Médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). IP - Irrigação plena (100% das necessidades hídricas durante todo o ciclo); IDC - Déficit contínuo (50% ao longo de todo o ciclo); IDFV - Déficit na fase vegetativa (50% das necessidades hídricas nesta fase); IDF - Déficit na fase de florescimento (50% nesta fase); IDEG - Déficit na fase de enchimento de grãos (50% nesta fase); N: Nitrogênio; CV (%): coeficiente de variação.

O maior teor de N nas folhas foi observado nos tratamentos com a combinação de *B. aryabhattai* + *R. tropici* + mix e no controle positivo. O *R. tropici* na cultura do feijão é amplamente utilizado como inoculante para promover a fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse microrganismo associa-se às raízes do feijoeiro, formando nódulos radiculares que convertem o N atmosférico (N₂) em formas assimiláveis pela planta, fornecendo N de forma natural e reduzindo ou substituindo parte da adubação nitrogenada mineral (SHAMSELDIN; VELÁZQUEZ, 2020; SOUSA et al., 2022). Paralelamente, as estirpes UNIFENAS 03-23, UNIFENAS 03-35 e UNIFENAS 03-36, que compõem o mix, são reconhecidas por promover maior número e maior biomassa nodular em *Arachis pintoi*, características fundamentais para a eficiência do processo de FBN (OLIVEIRA et al., 2023). Destaca-se que a inoculação conjunta desses microrganismos proporcionou teores foliares de N equivalentes aos obtidos no controle positivo, que recebeu aplicação de N mineral, evidenciando a capacidade da inoculação em substituir integralmente a adubação nitrogenada mineral sob as condições avaliadas. Em relação aos manejos de irrigação, os maiores teores foram observados na IDC e na IDFV, o que sugere possíveis ajustes fisiológicos da planta para otimizar o uso do nutriente sob condições de estresse.

Os valores médios do teor de proteína bruta (PB) dos grãos estão apresentados na Tabela 6. Os resultados indicam que os bioinsumos e os manejos de irrigação exerceram

efeitos significativos sobre os parâmetros avaliados. Além disso, foi observada interação significativa entre esses fatores ($p < 0,05$).

Tabela 6. Proteína bruta dos grãos de feijão comum cultivado com diferentes bioinsumos e manejos de irrigação.

Bioinsumos	Manejos de irrigação				
	IP	IDC	IDFV	IDF	IDEG
Proteína bruta dos grãos (%)					
<i>Bacillus aryabhattai</i>	17,09 Bc	18,82 Bb	19,62 Ca	18,83 Ab	16,58 Bc
<i>B. aryabhattai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	17,43 Bb	17,62 Cb	21,72 Aa	15,58 Cc	16,97 Ab
<i>B. aryabhattai</i> + <i>R.</i> <i>tropici</i> + Mix	18,28 Ab	18,63 Bb	20,88 Ba	16,85 Bc	16,59 Bc
Controle positivo	17,45 Bb	19,55 Aa	19,53 Ca	16,40 Bc	17,12 Ab
Controle negativo	17,43 Bb	17,50 Cb	18,95 Da	16,20 Bc	16,19 Bc
CV (%)	1,53				

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). IP - Irrigação plena (100% das necessidades hídricas durante todo o ciclo); IDC - Déficit contínuo (50% ao longo de todo o ciclo); IDFV - Déficit na fase vegetativa (50% das necessidades hídricas nesta fase); IDF - Déficit na fase de florescimento (50% nesta fase); IDEG - Déficit na fase de enchimento de grãos (50% nesta fase); CV (%): coeficiente de variação.

O maior teor de PB em IP foi observado no tratamento com a combinação de *B. aryabhattai* + *R. tropici* + mix, enquanto os demais tratamentos com bioinsumos nesse mesmo manejo não apresentaram diferença significativa em relação aos controles positivo e negativo. No manejo IDC, o maior teor foi observado no controle positivo. Em IDFV, o maior teor ocorreu na combinação de *B. aryabhattai* + *R. tropici*. Em IDF, apenas com *B. aryabhattai*, e em IDEG, na combinação de *B. aryabhattai* + *R. tropici* e no controle positivo. Ao analisar o desdobramento, pode-se observar que os maiores valores estão associados ao manejo IDFV, além do controle positivo em IDC. De modo geral, os valores de PB estão em conformidade com a literatura para essa cultivar (SANTIS et al., 2019; SIQUEIRA et al., 2020).

Os bioinsumos e os manejos de irrigação exerceram efeitos significativos sobre a densidade de microrganismos no solo utilizado no cultivo de feijão. Além disso, foi observada interação significativa entre esses fatores ($p < 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7. Densidade de microrganismos no solo utilizado no cultivo de feijão comum, em função de diferentes bioinsumos e manejos de irrigação.

Bioinsumos	Manejos de irrigação				
	IP	IDC	IDFV	IDF	IDEG
UFC (g^{-1} de solo)					
<i>Bacillus aryabhatai</i>	$1,6 \times 10^6$ Cc	$1,5 \times 10^6$ Cd	$1,8 \times 10^6$ Cb	$6,6 \times 10^5$ Ce	$2,3 \times 10^6$ Ba
<i>B. aryabhatai</i> + <i>Rhizobium tropici</i>	$1,8 \times 10^6$ Bc	$1,2 \times 10^6$ Ed	$4,8 \times 10^6$ Aa	$1,2 \times 10^5$ Ee	$3,0 \times 10^6$ Ab
<i>B. aryabhatai</i> + <i>R.</i> <i>tropici</i> + Mix	$2,5 \times 10^6$ Ab	$1,3 \times 10^6$ Dc	$4,8 \times 10^6$ Aa	$3,7 \times 10^5$ De	$7,6 \times 10^5$ Dd
Controle positivo	$1,5 \times 10^6$ Db	$3,0 \times 10^6$ Aa	$3,0 \times 10^6$ Ba	$1,3 \times 10^6$ Bc	$3,0 \times 10^6$ Aa
Controle negativo	$1,2 \times 10^6$ Ed	$1,7 \times 10^6$ Bc	$1,8 \times 10^6$ Cb	$3,0 \times 10^6$ Aa	$1,1 \times 10^6$ Ce
CV (%)	1,28				

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). IP - Irrigação plena (100% das necessidades hídricas durante todo o ciclo); IDC - Déficit contínuo (50% ao longo de todo o ciclo); IDFV - Déficit na fase vegetativa (50% das necessidades hídricas nesta fase); IDF - Déficit na fase de florescimento (50% nesta fase); IDEG - Déficit na fase de enchimento de grãos (50% nesta fase); UFC: Unidade formadora de colônia; CV (%): coeficiente de variação.

A maior densidade de microrganismos no manejo IP foi observada no tratamento com a combinação de *B. aryabhatai* + *R. tropici* + mix. Destaca-se que, nesse manejo, todos os tratamentos com aplicação de bioinsumos apresentaram densidade significativamente maior que os controles positivo e negativo. Em IDC, a maior densidade foi observada no controle positivo. No manejo IDFV, as maiores densidades ocorreram nas combinações de *B. aryabhatai* + *R. tropici* e *B. aryabhatai* + *R. tropici* +

mix. No manejo IDF, o controle negativo apresentou a maior densidade, enquanto em IDEG, a combinação de *B. aryabhattai* + *R. tropici* e o controle positivo apresentaram os maiores valores. Ao analisar o desdobramento, observa-se que, com aplicação dos bioinsumos, as menores densidades foram registradas no manejo IDF.

O fato de os controles positivo e negativo apresentarem populações de microrganismos, mesmo na ausência de aplicação de bioinsumos, pode ser explicado pela presença de uma microbiota natural que, além disso, se beneficia da adição de N mineral. Os microrganismos do solo respondem positivamente à adubação mineral, pois necessitam de N para suas funções metabólicas, síntese de proteínas e reprodução. Portanto, níveis adequados de N no solo podem favorecer a atividade microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

4. CONCLUSÕES

A aplicação de *Bacillus aryabhattai*, isolado ou em combinação com *Rhizobium tropici* e outras estirpes bacterianas, demonstrou potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico no feijoeiro comum, promovendo maior produtividade mesmo em condições de irrigação subótima. Além disso, a associação de bioinsumos contribuiu para o aumento do teor foliar de nitrogênio e da proteína bruta dos grãos, em níveis comparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação nitrogenada mineral.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. *Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017)*. Brasília: ANA, 2020.
- ANSARI, W. A.; ATRI, N.; PANDEY, M.; SINGH, A. K.; SINGH, B.; PANDEY, S. Influence of Drought Stress on Morphological, Physiological and Biochemical Attributes of Plants: A Review. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, v. 16, p. 697-709, 2019. <https://doi.org/10.13005/bbra/2785>
- AOAC INTERNATIONAL. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Regras para Análise de Sementes*. Atualização 2025. Disponível em: <https://wikisda.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

CIPRIANI, L. P.; BRUM, L. N.; NUNES, R. L. S.; WRASSE, G. L.; BATISTA, C. B.; FULANETI, F. S.; STECCA, J. D. L.; MARTIN, T. N. Fisiologia e o manejo do uso de bioinsumos em culturas agrícolas. *Caderno Pedagógico*, v. 22, e13899-e13899, 2025. <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n4-049>

DENG, C.; ZHANG, N.; LIANG, X.; HUANG, T.; LI, B. *Bacillus aryabhattai* LAD impacts rhizosphere bacterial community structure and promotes maize plant growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 102, p. 6650-6657, 2022. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12032>

DIAS, R.; MATOS, F. Impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos: desafios e implicações para a humanidade. *Revista Sociedade Científica*, v. 8, p. 1571-1603, 2023. <https://doi.org/10.61411/rsc100003>

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

FLORENTINO, L. A.; REZENDE, A. V.; MESQUITA, A. C.; LIMA, A. R.; MARQUES, D. J.; MIRANDA, J. M. Diversidade e potencial de utilização dos rizóbios isolados de nódulos de *Gliricidia sepium*. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 37, p. 320-328, 2014. <https://doi.org/10.19084/rca.16831>

FUGA, C. A. G.; CAIXETA, G. A. N.; CAIXETA, C. F.; MELO, I. S. Growth promotion in maize (*Zea mays* L.) by *Bacillus aryabhattai* strain CMAA 1363. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.18, e3340, 2023. <https://doi.org/10.5039/agraria.v18i3a3340>

HASHEM, A. H.; ABDELAZIZ, A. M.; ASKAR, A. A.; FOUUDA, H. M.; KHALIL, A. M.; ABD-ELSALAM, K. A.; KHALEIL, M. M. *Bacillus megaterium*-mediated synthesis of selenium nanoparticles and their antifungal activity against *Rhizoctonia solani* in faba bean plants. *Journal of Fungi*, v. 7, p. 195, 2021. <https://doi.org/10.3390/jof7030195>

LIU, B.; LIANG, J.; TANG, G.; WANG, X.; LIU, F.; ZHAO, D. Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Juglans* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, v. 250, p. 230-235, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.056>

MASMOUDI, F.; ALSAFRAN, M.; JABRI, H. A.; HOSSEINI, H.; TRIGUI, M.; SAYADI, S.; TOUNSI, S. E.; SAADAoui, I. Halobacteria-based biofertilizers: a promising alternative for enhancing soil fertility and crop productivity under biotic and abiotic stresses-A review. *Microorganisms*, v. 11, p. 1248, 2023.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms11051248>

MIORINI, T. J. J.; SAAD, J. C. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Irriga*, v. 16, p. 360-360, 2011. <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n4p360>

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2002.

MUN, B. G.; HUSSAIN, A.; PARK, Y. G.; KANG, S. M.; LEE, I. J.; YUN, B. W. The PGPR *Bacillus aryabhattai* promotes soybean growth via nutrient and chlorophyll maintenance and the production of butanoic acid. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, p. 1341993, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1341993>

OLIVEIRA, T. É.; PRADO, R. A. T.; REZENDE, A. V.; FLORENTINO, L. A. Synergism between rhizobium strains and soil bioactivator favor sustainable production of *Arachis pintoi*. *Revista Ceres*, v. 70, e70511, 2023. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370050011>

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999.

SANTIS, F. P.; NETO, A. S.; CAVALCANTE, A. G.; FILLA, V. A.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B. Componentes de produção, produtividade e atributos tecnológicos de cultivares de feijoeiro do grupo comercial carioca. *Colloquium Agrariae*, v. 15, p. 21-30, 2019. <https://doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n6.a332>

SANTOS, L. A. D.; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; GONSALES, J. R. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. *Revista Ceres*, v. 62, p. 107-116, 2015. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010014>

SHAMSELDIN, A.; VELÁZQUEZ, E. The promiscuity of *Phaseolus vulgaris* L.(common bean) for nodulation with rhizobia: a review. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 36, p. 63, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11274-020-02839-w>

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; CRUZ, D. R. C.; FRASCA, L. L. M.; SILVA, J. F. A.; FERREIRA, A. L.; FERREIRA, E. P. B.; LANNA, A. C.; BEZERRA, G. A.;

FILIPPI, M. C. C. Initial development of upland rice inoculated and co-inoculated with multifunctional rhizobacteria. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 44, p. 273-284, 2023. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n1p273>

SIQUEIRA, V. C.; JUNQUEIRA, M. H.; QUEQUETO, W. D.; DA SILVA, F. P.; SCHOENINGER, V.; SOARES, T. Z. B.; MABASSO, G. A.; HARTMANN FILHO, C. P. Qualidade nutricional de feijão BRS Estilo submetido à diferentes temperaturas de secagem. *Research, Society and Development*, v. 9, e198953252-e198953252, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3252>

SOUSA, M. A.; LIMA, M. D. B. Influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. Carioca comum. *Bioscience Journal*, v. 26, p. 550-557, 2010.

SOUSA, W. S.; TEIXEIRA, I. R.; CAMPOS, T. S.; SILVA, G. C.; SILVA, M. B.; MOREIRA, S. G. Supplementary reinoculation in topdressing of *Rhizobium tropici* in common bean crop: effects on nodulation, morphology, and grain yield. *Journal of Plant Nutrition*, v. 45, p. 3094-3108, 2022. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020833>

TAHIRI, H.; EL AMRAOUI, K.; EL OIHABI, M.; KHADMAOUI, A. Effect of biostimulants on growth and production parameters of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated under North African climate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 23, p. 384-391, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.03.007>